

复杂地质条件下超深旋喷桩的工程应用研究

孙叔庆,王传利,李永生,王志新,倪春晓

(中冶天工上海十三冶建设有限公司,上海 201900)

摘 要: 旋喷桩的施工深度受到施工机械、土质、土层结构等因素的影响,深度越深,施工质量越难以控制。今以某工程为例,通过反复试验,对喷射方式和钻头结构型式进行了改进,最后顺利达到了预定钻进深度;在质量控制与检测方面提出了一系列异于常规旋喷深度的方法和措施;在旋喷桩作为止水帷幕的设计方面进行了优化设计,试验和研究结果对今后类似工程具有重要的借鉴和指导意义。

关键词: 旋喷桩;超深土层;施工机械;质量控制与检测

中图分类号: TU473

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2013)03-0214-05

Study on engineering application of ultra-deep jet grouting pile under complicated geological conditions

SUN Shuqing, WANG Chuanli, LI Yongsheng, WANG Zhixin, NI Chunxiao

(China Metallurgical Tiangong Shanghai Shisanye Construction Co., LTD, Shanghai 201900, China)

Abstract: Construction depth of jet grouting pile is affected by construction machinery, soil properties and soil structure. The greater the depth is, the more difficult to control the quality of construction is. Through improving the spray pattern and drill type, a predetermined drilling depth was successfully reached; a series of method which is different from conventional jet grouting depth in quality control and testing was proposed; jet grouting pile as waterproof curtain the design has been optimized. Thus the testing and research result will be instructive to similar projects.

Key words: jet grouting pile; ultra-deep soil; construction machinery; quality control and testing

高压旋喷桩在工程领域有着广泛的应用。但旋喷桩的施工深度受到施工机械、土质、土层结构等因素的影响,深度越深,施工质量越难以控制。为了顺利达到预定钻进深度,保证旋喷桩的施工质量,笔者对旋喷桩的浆液喷射方式和钻头的结构型式进行了改进尝试,并对施工质量的控制措施及质量检测手段进行了实践总结。

收稿日期: 2013-05-12

作者简介: 孙叔庆(1972—),男,辽宁省沈阳人,高级工程师,主要从事工业与民用建筑的施工管理与项目管理研究。

1 工程概况

某公司厂房位于巨厚的海相淤泥区,其中精炼分厂钢坯库约 2 万 t 钢坯已沉陷埋入地下,最大埋深约 30 m,导致钢坯库 A~D 跨厂房毁坏。因需取出沉埋地下的钢坯,恢复毁坏的厂房,在沉陷区设计一基坑支护结构,采用明挖方式取出地下钢坯。拟开挖的基坑处在精炼厂垮塌的钢坯库内,东面紧邻钢坯生产线,南面靠近带钢厂房,西面贴近钢坯库未垮塌部分,北面贴近精炼厂电气室及设备维修间。除此之外,拟建场地东侧紧贴钢坯生产线平行布设有一条电缆沟,平行于带钢厂房外墙埋设有 $\Phi 1\ 600\text{ mm}$ 的排水管及一条 $\Phi 400\text{ mm}$ 的输气管。现场西侧的下沉钢坯有部分露头,在地面可以看到倾斜的钢坯露头部分,如图 1 所示。由于钢坯下沉,引起周围厂房柱基的破坏较严重,部分厂房立柱已经可以看到裂缝和倾斜,如图 2 所示。



图 1 场地内露头的钢坯
Fig. 1 Billet outcrop



图 2 基坑周围厂房柱基裂缝照片
Fig. 2 Crack of column base of plant around pit

2 工程地质概况

拟建场地属滨岸相沉积地貌,原被海水覆盖,经修筑海堤及大面积填方后现为陆地。场地现黄海高程在 4.81~6.01 m,平均为 5.31 m。场地内分布的主要地层有人工填积层和第四系全新统长乐组海积层、第四系全新统东山组海积层、第四系上更新统龙海组冲洪积层和燕山期侵入花岗岩层。各地层情况如表 1 所示。

表 1 工程地质情况
Table 1 Engineering geological conditions

土层及编号	物理力学指标					
	重度 γ / ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	黏聚力 c / kPa	内摩擦角 ψ / ($^{\circ}$)	渗透系数/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)		层厚/m
				K_v	K_h	
①1 素填土	18.5			5.00E-04	5.00E-04	4.2~11.8(8.4)
①2 素填土	16.7	9.1	5.8			
② 淤泥	15.2	9.0	5.8	5.00E-07	5.00E-07	11.2~21.0(15.8)
③ 黏土	17.5	32.0	15.0	1.00E-07	2.50E-07	0.9~7.4(3.7)
④1 淤泥质黏土	16.7	11.0	7.0	3.00E-07	4.00E-07	0.8~12.0(4.1)
④2 黏土	17.4	25.0	11.6	1.00E-07	2.00E-07	2.6~11.5(6.0)
⑤ 砂砾卵石	19.5			1.16E-02		4.4~11.2(6.6)
⑥ 黏土	17.6	39.0	16.0	7.50E-08	9.00E-08	0.2~3.8(1.5)
⑦ 卵石	20.5			1.74E-02		

3 围护结构和止水帷幕设计

本基坑最大开挖深度约 30 m,属于超深基坑,基坑工程安全等级为一级。基坑场地内存在下沉的钢

坏、垮塌的原厂房柱基及原地坪桩等许多障碍物,地下连续墙的围护结构形式在较为复杂的地质条件下很难施工,因此本工程选择钻孔灌注桩加旋喷桩止水帷幕的围护结构形式^[1-2],具体布置见图 3。

3.1 围护结构

围护体系采用双排钻孔灌注桩,内圈 $\Phi 1\,200\text{ mm}@2\,000\text{ mm}$,外圈 $\Phi 1\,000\text{ mm}@2\,000\text{ mm}$,内外圈灌注桩交错排布。有效桩长:内圈直径 $\Phi 1\,200\text{ mm}$ 的桩长 55.8 m ,外圈直径 $\Phi 1\,000\text{ mm}$ 的桩长大于等于 60.8 m ,进入⑧1层强风化岩至少 1 m 。钻孔灌注桩后设多排高压旋喷桩止水帷幕。

3.2 止水帷幕

本基坑采用旋喷桩隔断承压水的止水方案。同时考虑到承压水头较高,而止水帷幕较深、施工难度大等原因,在坑内设置 5 口备用井,平时作为水位观测,紧急情况进行减压降水的处理方法。

止水高压旋喷桩间隙为 $\Phi 600\text{ mm}@300\text{ mm}$,止水帷幕宽度约为 $2\,000\text{ mm}$,采用新二重高压旋喷工艺,桩底进入⑧1层强风化岩至少 1 m ,桩底标高 $-58\sim-63\text{ m}$ 。具体桩长情况如图 4 所示。

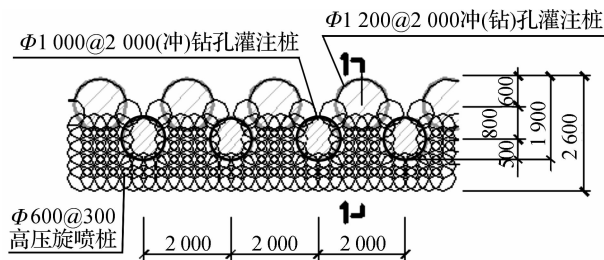


图 3 平面布置图

Fig. 3 Floorplan

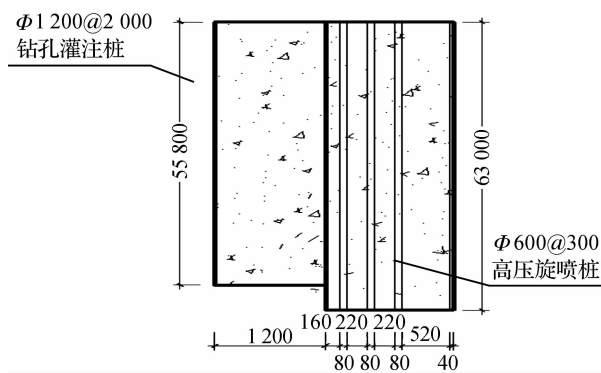


图 4 剖面图

Fig. 4 Cross-sectional view

4 超深旋喷桩施工机械改进

因高压旋喷桩成桩深度要求在一 63 m 进入风化岩,地层深而复杂,施工难度大,普通高压旋喷桩机无法满足施工条件,故本工程首先对高压旋喷桩施工机械进行了试制和改进。改进时首先考虑的是对机架进行改造,采用 30 m 高的高压旋喷机架;为避免钻杆与钻杆之间连接时导致接头处喷浆管漏水漏浆,同时保证拆装方便,决定采用螺旋接头连接,并确定主钻杆长 24 m ,副钻杆长 10.15 m (含接头),采用压缩空气冲击钻钻头。全套高压旋喷桩机配置如下: 30 m 高的高压旋喷桩机机架,活塞式空气压缩机 2 台,储气罐 2 只,高压注浆泵 1 台,电磁式调速电动机 1 台,卷扬机 2 台, 30 kW 减速电动机 1 台, 30 kW 配电箱 1 台, 90 kW 降压启动配电箱 1 台。

使用该套设备进行试桩时,当压缩空气冲击钻钻头钻透上部回填土后进入淤泥层时,在一 27 m 左右便无法钻进。因此在穿透上部回填土后换用麻花钻进行尝试,但钻至 -40 m 后又无法钻进,最终决定终止钻进改为喷浆。第一根和第二根试验桩成桩深度只达到了 40 m 。

再改用先引孔后喷浆的施工工艺进行施工,成桩深度可达到 63 m 。但在进行喷浆时,预先引孔下的 PVC 管因喷浆压力而被挤出,造成引孔预埋的 PVC 管报废。若采用其他机械引孔后喷浆,定位又不好控制,施工成本高,施工工期长。因此最好不用引孔,而直接利用自身桩机将孔钻至设计标高 -63 m 处。

试验过程中曾引进了地质钻探使用的合金筒子钻钻头进行尝试,但钻至 -43 m 后仍无法钻进,钻头前部断裂,只能提杆换高压旋喷头进行喷浆。后又分别采用合金螺旋钻头、合金十字钻头和合金斜形钻头进行尝试,但最终均因钻头头部被磨平而无法钻至设计标高。

经过进一步的分析总结,决定改变思路,将水气由侧面改成由下面喷出,由单一的靠钻头磨进改为用钻头磨与水气冲击相结合的方式进行钻进。最终决定采用一种水气中心直射加球阀冲击的技术对水路和气路进行改造,再结合三角锥形钻头进行钻孔试验,由原先的 -43 m 钻至 -54 m 。按地质报告分析, -54 m 至 -63 m 应处于卵石层与风化岩层处,理论上这种方式可以钻至 -63 m ,但实际却无法钻进,通

过将钻杆提上来后发现三角锥形钻头前部已被磨平,于是将三角锥形钻头再进行加工,并在钻头侧面及头部加合金块,终于成功钻至-63 m并喷浆。加工后的钻头如图5、图6所示。



图5 压缩空气钻钻头底部

Fig. 5 Bottom of compressed air drill bit



图6 不同的压缩空气钻钻头型号

Fig. 6 Different types of compressed air drill bits

5 超深旋喷桩施工质量控制

为保证超深旋喷桩的施工质量,根据施工条件、设计要求和相关行业规范,拟采取如下施工质量控制手段^[3-4]:

- 1) 高喷施工时隔两孔施工,防止相邻高喷孔施工时串浆。相邻的旋喷桩施工时间间隔不少于48 h。
- 2) 浆液水灰比、浆液重度、每米桩体掺入水泥重量等参数均以现场试桩情况为准。施工现场配备比重计,每天量测浆液相对密度,严格控制水泥用量。运灰小车及搅拌桶均做明显标记,以确保浆液配比的正确性。灰浆搅拌应均匀,并进行过滤。喷浆过程中浆液应连续搅动,防止水泥沉淀。
- 3) 施工前进行成桩试验,由设计、业主、监理、施工单位共同确定旋喷桩施工参数,保证成桩直径不小于设计桩径。
- 4) 严格控制喷浆提升速度,其提升速度应小于0.25 m/min。喷浆过程应连续均匀,若喷浆过程中出现压力骤然上升或下降,大量冒浆、串浆等异常情况时,应及时提钻出地表,排除故障后,复喷接桩时应加深0.4 m重复喷射接桩,防止出现断桩。
- 5) 高喷孔喷射成桩结束后,应采用含水泥浆较多的孔口返浆回灌,防止因浆液凝固后体积收缩,桩顶面下降,以保证桩顶标高满足设计要求。
- 6) 因地下孔隙等原因造成返浆不正常、漏浆时,应停止提升,用水泥浆灌注,直至返浆正常后才能提升。
- 7) 引孔钻孔施工时应及时调整桩机水平,防止因机械振动或地面湿陷造成钻孔垂直度偏差过大。为保证顺利安放注浆管,引孔直径采用 $\Phi 210$ mm成孔,岩芯管长不小于2.0 m。穿过砂层时,采用浓泥浆护壁成孔,必要时可下套管护壁,以防垮孔。
- 8) 根据地质条件的变化情况及时调整施工工艺参数,以确保桩的施工质量。调整参数前应及时向业主、监理、设计部门报告,经同意后调整。
- 9) 配备一台备用发电机组。旋喷桩施工,进入旋喷作业则应连续施工。若施工过程中停电时间过长,则启用备用发电机,保证施工正常进行。

6 超深旋喷桩施工质量检测

旋喷桩是在地下直接形成的,因而不能直接观察到旋喷桩的质量和成桩效果,必须运用科学、高效的

检测方法来检测。检测的内容主要有:旋喷桩的垂直度,旋喷桩的整体性和均匀性,旋喷桩的有效直径,旋喷桩的强度特性及旋喷桩的溶蚀性和耐久性。

通过综合考虑,本工程旋喷桩检测采用以下两种方法。

6.1 钻孔取芯检测

钻孔取芯检测法^[4]是在桩体龄期 28 d 后进行的,如图 7 所示,其主要目的:一是取芯样做混凝土抗压强度试验,检测桩基混凝土是否达到设计强度要求;二是直接观测芯样的配合比的变化、砂石料的搅拌均匀性;三是核实桩基长度,判断桩底沉渣厚度、桩基扩径、夹砂等。

6.2 瑞雷波法检测

瑞雷波是一种面波,它在介质的自由界面附近传播,其形成与传播机制直接与介质的物理特性有关。瑞雷波测试方法一般分为瞬态法和稳态法两种。这两种方法的区别在于震源不同。瞬态法是在激震时产生一定频率范围的瑞雷波,并以复频波的形式传播;而稳态法是在激震时产生相对单一频率的瑞雷波,并以单一频率波的形式传播。本方法适用于检测桩身缺陷的位置及程度^[5]。



图 7 钻孔取芯检测法取芯

Fig. 7 Core boring method

7 结 语

本工程的高压旋喷桩成桩深度要求在一 63 m 进入风化岩,地层深而复杂,施工难度大,由于该旋喷桩施工深度目前在国内几乎是最深的深度,很多问题都没有先例可以参考,只有通过边施工边发现问题并解决问题。在钻进过程中,通过不懈的试验,最后把喷射方向由侧喷改为下喷,并对钻头的型式进行改进,才终于钻到一 63 m 深度。由于地层深部含有卵砾石层,在后面的施工中仍然发生过多埋钻事故,当钻进卵砾石层时很难再钻进,钻杆也无法拔出,因此今后还需要针对这一特殊地层对钻进方式或钻头作进一步的改进。在施工过程中,为保证桩的完整性和强度,喷浆压力和提升速度的控制是最为关键的方面;另外,浆液的水灰比也是一个重要的参数,对喷浆的质量起到重要影响。在质量检测方面,钻孔取芯是最直接的方法,但在费用和范围方面都具有一定的局限性,因此辅助以瑞雷波法,通过该法对桩体的完整形进行判断,可以较好地对施工质量进行评价^[6]。

该工程在施工过程中实施并归纳提出的一整套施工质量控制、检测手段及施工机械的改进方法,甚至施工过程中出现的经验教训,均可作为今后类似工程的参考。

参考文献:

- [1] 龚晓南. 地基处理手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [2] 刘国彬,王卫东. 基坑工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [3] 中华人民共和国冶金工业部. YBJ43—1992 高压旋喷注浆技术规程[S]. 西安:西安交通大学出版社,1993.
- [4] 曾春霞. 单管高压旋喷桩止水帷幕施工技术实例简述[J]. 科技创新与应用,2012(1):129.
- [5] 耿光旭,孟薄萍,刘金川,等. 瑞雷波法检测旋喷桩帷幕的完整性[J]. 广州建筑,2009,37(4):54-57.
- [6] 李小杰. 高压旋喷桩复合地基承载力与沉降计算方法分析[J]. 岩土力学,2004,25(9):1499-1502.